

손목 · 손가락 관절가동범위 측정에 관한 3차원 동작분석 프로그램의 신뢰도 연구

박선하*, 박지혁**, 김종배**, 정영진***, 이주현****, 박혜연**

*서울아산병원 재활의학과 연구원 / 연세대학교 대학원 작업치료학과 석사

**연세대학교 소프트웨어디지털헬스케어융합대학 작업치료학과 교수

***전남대학교 헬스케어메디컬공학부 부교수

****백석대학교 보건학부 작업치료학과 조교수

국문초록

목적 : 본 연구는 손목과 손가락 관절가동범위 측정에 대한 3차원 동작분석 프로그램의 신뢰도를 알아보고자 하였다.

연구방법 : 연구 대상자는 정상인으로 손목과 손가락의 움직임에 제한이 없는 자, 본 연구의 목적을 이해하고 참여에 동의한 자 50명을 대상으로 하였다. 측각기와 3차원 동작분석 프로그램을 사용하여 총 11항목의 손목과 손가락 관절가동범위를 각각 1회씩 측정하였다. 3차원 동작분석 프로그램의 신뢰도를 측정하기 위해 측정값의 일치도와 불일치 양상을 비교하였다.

결과 : 측정값의 일치도를 분석한 결과 44개의 항목 중 38개 측정항목에서 매우 높은 일치도를 보였으며, 측정값의 불일치 양상을 분석한 결과 3가지 항목에서 불일치 양상이 나타났다.

결론 : 본 연구 결과를 통해 본 연구에서 사용한 3차원 동작분석 프로그램을 통해 관절가동범위 측정이 가능함을 알 수 있었다. 또한 3차원 동작분석 프로그램의 측정의 편리성, 정확성의 장점을 기반으로 다양한 임상 분야에서 활용되기를 기대한다.

주제어 : 3차원 동작분석 프로그램, 관절가동범위, 신뢰도, 일치도, 정확도

교신저자 : 박혜연(haepark@yonsei.ac.kr)

|| 접수일: 2022.08.11

|| 심사일: 2022.08.18

|| 게재승인일: 2022.11.14

논문은 박선하(2022)의 석사학위 논문을 수정 보완한 것임.

I. 서 론

상지 기능은 일상생활활동을 수행하는 기본 바탕이 되며, 독립적으로 일상생활활동을 영위함에 있어서 중요한 역할을 한다(Kim et al., 2013). 따라서 일상생활활동을 수행하는데 필수적인 요소인 상지 기능은 작업치료 영역에서 그 평가의 중요성이 강조되고 있다(Jung et al., 2011). 손목과 손가락은 개인위생, 식사하기, 옷입기 등과 같은 일상생활활동과 기기, 걷기, 보호반응과 같은 운동기능에서도 주로 사용되는 신체기관이다(Moon & Won, 2021). 이처럼 손목과 손가락은 일상생활활동과 운동기능을 수행하는데 중요한 역할을 하는 신체 기관이므로, 손목과 손가락의 움직임을 측정하는 것은 필수적이다(Ma & Yang, 2019). 관절가동범위란 능동적인 근육의 수축이나 수동운동에 의해 움직이는 관절의 총 움직임 각도로(Keogh et al., 2019), 관절의 구조 및 관절 주변 조직들의 유연성과 두 뼈 사이에서 일어나는 움직임에 영향을 받을 수 있다(Yang et al., 2016). 관절가동범위 측정은 관절 내 또는 주위 조직의 병변을 파악하고, 진단이나 증상의 개선 정도를 파악하기 위해 사용된다. 또한 관절가동범위 측정은 관절의 제한 정도를 정확하게 평가하고, 시간 경과에 따른 관절의 변화를 문서화하는데 중요한 역할을 한다(Szekeres et al., 2016). 손목과 손가락의 관절가동범위 측정은 연조직 질환 및 퇴행성 관절 질환이 있는 환자의 재활 과정을 효율적으로 모니터링할 수 있는 지표로 사용된다(Pourahmadi et al., 2017).

현재 손목과 손가락 관절가동범위 측정을 위해 측각기(goniometer)와 미국 손 치료사 협회(American Society of Hand Therapists; ASHT)가 제시한 측정기준이 사용되고 있다(American Occupational Therapy Association, 2017; Cook et al., 2007; Fess, 1981). 측각기를 이용하여 손목과 손가락 관절가동범위를 측정하였을 때 95% 신뢰구간에서 평가자 내 신뢰도는 손목의 경우 .78 ~ .90, 손가락의 경우 .65 ~ .89로 나타났다(Ge et al., 2020; Van Kooij et al., 2017).

손목과 손가락의 경우 좁은 범위 내에 여러 개의 관절이 위치하고 뼈의 축이 짧기 때문에 측각기를 이용하여 관절가동범위를 측정할 경우, 2°에서 7°의 측정오류가 발생할 수 있다(Engstrand et al., 2012; Hazman et al., 2020). 또한 미국 손 치료사 협회에 따르면 측각기의 크기와 배치, 임상가의 힘, 결과의 문서화 방법에 따라서 측정값에 차이가 발생할 수 있다고 보고하였다(Kitagawa et al., 2019). 따라서 기존에 사용되고 있는 측각기의 신뢰도를 높이기 위한 대안이 필요한 실정이다.

이에 대한 대안으로 현재 스마트폰 측각기와 3차원 동작분석 프로그램이 사용되고 있다(Ge et al., 2020; Modest et al., 2019; Reissner et al., 2019). 스마트폰 측각기의 경우 내장된 나침반 어플리케이션을 사용하여 움직임의 범위를 측정하였다(Modest et al., 2019). 이 경우 측정 시 스마트폰을 측정 부위에 고정하는 장비를 사용하거나 치료사가 직접 환자의 신체 부위에 스마트폰을 평행하게 위치시킨 뒤 움직임을 측정하기 때문에 측정의 오차가 발생할 수 있다(Lee et al., 2018). 3차원 동작분석 프로그램의 경우 키넥트나 Vicon과 같은 기기가 주로 사용되고 있다(Reissner et al., 2019). 그러나 키넥트는 적외선을 송출하고 이를 사용해 촬영하기 때문에 조명의 영향을 많이 받으며, 인식 시스템의 기본 설정이 정적인 상태를 인식하기 때문에 연속 동작의 인식을 위해서는 추가적인 학습이 필요하다는 한계점이 있다(Metcalf et al., 2013). Vicon의 경우 2차원 자료를 3차원 자료로 변환하여 동작을 인식하기 위해 후처리 과정이 필요하고, 가격이 비싸다는 단점을 갖고 있다(Ota et al., 2020).

따라서 마커를 사용하지 않고, 분석 방법이 간단한 관절가동범위를 측정할 수 있는 도구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구는 마커를 사용하지 않고 신체의 움직임을 측정할 수 있는 3차원 동작분석 프로그램인 AI-motion을 사용하였다. 손목과 손가락 능동관절가동범위를 측정한 3차원 동작분석 프로그램인 AI-motion과 기존 측각기의 관절가동범위 측정값을 비교하고자

한다. 이를 통해 손목과 손가락의 관절가동범위를 측정하는데 사용된 3차원 동작분석 프로그램의 신뢰도를 규명하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구는 연세대학교 생명윤리심의위원회 (Institutional Review Board; IRB)의 승인을 거쳐 시행되었으며(승인번호: 1041849-202112-BM-219-02), 2022년 1월부터 3월까지 Y대학교에 재학 중인 학생들을 대상으로 하였다. 본 연구의 대상자는 연구 참여에 동의한 대상자들로 본 연구의 선정 기준을 충족한 50명을 대상으로 하였다. 본 연구의 선정 기준은 1) 정상인으로 손목과 손가락의 움직임에 제한이 없는 자, 2) 손목과 손가락에 질환을 갖고 있지 않은 자, 3) 본 연구의 목적을 이해하고 참여를 동의한 자이다. 연구 대상자 수를 산출하기 위해 G*Power 3.1.9.4 version을 사용하였으며 유의수준(α) = .05, 검정력($1-\beta$) = .80, 효과 크기 (d) = .50으로 계산한 결과, 본 연구에 필요한 최소 표본 수 30명과 탈락률을 고려해 총 50명의 대상자를 모집하였다. 대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

2. 측정 도구

1) 측각기(Goniometer)

본 연구에서는 손목의 능동관절가동범위를 측정하

기 위해 180° 눈금 표시판에 5° 단위로 눈금이 새겨진 6-inch 스테인리스 측각기를 사용하였다. 손가락의 능동관절가동범위를 측정하기 위해 150° 눈금 표시판에 5° 단위로 눈금이 새겨진 6-inch 스테인리스 손가락 관절 측각기를 사용하였다.

2) 3차원 동작분석 프로그램(3D Motion Analysis Program)

관절가동범위 측정을 위해 1080p/30fps 해상도의 로지텍 HD920 웹캠을 사용하였다. 촬영된 영상을 기반으로 관절가동범위를 분석하기 위해 AI-motion (www.neurorehap.com, South Korea) 프로그램을 사용하였다. 프로그램 가동을 위해 Windows 10 운영체제 PC에서 intel i7 프로세서와 그래픽 카드, GTX 1050Ti 및 16GB 메모리가 탑재된 노트북을 사용하였다.

3. 측정 방법

모집된 대상자는 실험 장소에 1회 방문하여 능동 관절가동범위를 측정하였다. 측정 순서는 측각기를 사용한 능동 관절가동범위 측정 1회 후 10분간 휴식을 취한 뒤, 3차원 동작분석 프로그램을 사용한 능동 관절가동범위 측정 1회의 순서로 진행하였다. 측정항목은 손목 관절 굽힘·폄, 손목 자뼈쪽·노뼈쪽 치우침, 엄지 손허리손가락·손가락뼈사이 굽힘, 엄지 노뼈쪽 벌림, 검지~새끼 손허리손가락·몸쪽손가락뼈·면쪽손가락뼈 굽힘, 검지~새끼 손허리손가락 벌림의 능동 관절가동범위 총 11가지 항목이다.

Table 1. General Characteristics of Subjects

(N = 50)

Gender	Dominant hand (%)	Number of subjects (%)	Age
Male	Right	9 (81)	25.9
	Left	2 (19)	
Female	Right	36 (92)	23.2
	Left	3 (8)	

1) 측각기를 이용한 측정 방법

측각기를 이용한 측정 방법은 미국 손 치료사 협회 (American Society of Hand Therapists; ASHT)가 제시한 손목과 손가락 관절가동범위 측정기준을 적용하였다. 측각기의 고정팔(Stationary Arm)과 움직임 팔(Movable Arm)은 각 측정기준에 따라 위치시켰으며, 측정자가 움직임 끝 범위에 움직임을 위치시켰을 때의 각도를 기록하였다. 대상자는 등받이가 있는 의자에 앉은 상태에서 책상에 아래팔을 올린 뒤 측정을 진행하였고, 관절가동범위는 오른쪽과 왼쪽을 나누어 총 3회씩 측정하였다. 측정자는 3회 측정값의 평균을 평가지에 기록하였고, 스톱워치를 사용해 측정 시간을 기록하였다.

2) 3차원 동작분석 프로그램을 이용한 측정 방법

데이터 수집을 위해 로지텍 920 웹캠과 AI-motion 프로그램이 설치된 노트북을 사용하였다. 관절가동범위 측정항목은 측각기로 측정한 항목 11개를 동일하게 측정하였으며, 측정 방법은 Reissner 등(2019), Nizamis 등(2018)이 제시한 방법을 참고하여 촬영 가이드를 제작하였다.

(1) 실험 환경

실험 환경은 대상자는 의자에 앉은 상태에서 측정을 진행하였고, 사용된 의자는 앉았을 때 발이 바닥에 닿을 정도의 높이이며 책상은 책상 위에 아래팔을 올려놓았을 때 팔꿈치 관절이 90° 굽힘이 되는 높이의 책상

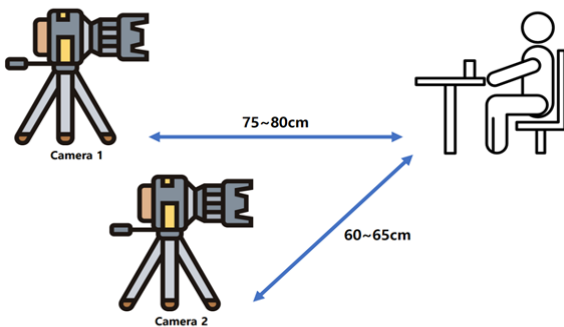


Figure 1. Experimental Environment Setting

을 사용하였다(Figure 1). 카메라는 대상자의 키에 맞춰 정면에서 75cm~80cm 떨어진 거리와 대각선에서 60cm~65cm 떨어진 거리에 설치하였다. 움직임이 제한되는 끝 지점은 1) 정상 관절가동범위의 끝 범위, 2) 측정자가 끝 느낌을 받은 지점으로 설정하였다. 대상자는 11개의 측정항목 1세트(뽀-굽힘)를 각 3회씩 반복하였다.

(2) 분석에 사용된 관절 좌표의 설정

웹캠으로 촬영된 영상을 기반으로 움직임을 추출하기 위해 Mediapipe 관절 모형과 Matlab(2021b)을 사용하여 관절의 위치를 추정하였다. 본 연구에서 사용한 Mediapipe 관절 모형은 전신 모형과 손 모형을 사용하였다(Figure 2). 관절 모형은 전신 영역 내부에 형성된 33개의 좌표와 손 영역 내부에 형성된 21개의 좌표를 사용하였다. Matlab(2021b)은 촬영된 영상과 Mediapipe 모형을 기반으로 움직임을 분석하는데 사용되었으며, 모형에서 제시된 관절 위치마다 x, y, z 좌표값을 생성하였다. x값은 가로 방향의 움직임(너비), y값은 세로 방향의 움직임(높이), z값은 깊이를 의미한다.

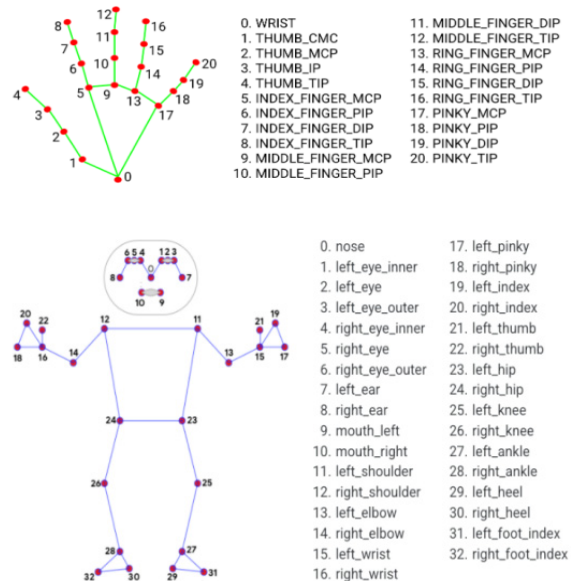


Figure 2. Mediapipe Hand & Whole Body Joint Model

$$\begin{aligned}
 A &= (x_1, y_1, z_1) \\
 B &= (x_2, y_2, z_2) \\
 A' &= (x_2', y_2', z_2') \\
 \vec{AB} &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \\
 \vec{A'B'} &= \sqrt{(x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2 + (z_2' - z_1')^2} \\
 \frac{\vec{AB} \cdot \vec{A'B'}}{|\vec{AB}| \cdot |\vec{A'B'}|} &= \cos \theta
 \end{aligned}$$

Equation 1. Vector Dot Product Formula

(3) 관절가동범위의 측정

3차원 동작분석 프로그램을 통한 관절가동범위 측정을 위해 벡터 내적 공식을 사용하였다(Equation 1). 벡터 내적 공식에 대입한 값은 Mediapipe 모형과 촬영된 영상에서 추출된 좌표값을 대입하였다. A와 B는 Mediapipe 모형에서 추출된 한 개의 좌표를 의미하고, x, y, z는 각각 좌표에서 형성된 움직임 값을 의미한다. 벡터는 유클리드 거리 공식을 사용하여 계산된 두 좌표사이의 거리를 통해 얻을 수 있으며, 계산된 벡터를 벡터 내적 공식에 대입해 관절가동범위를 계산한다.

4. 분석 방법

본 연구에서는 두 검사법의 측정값을 비교하기 위해 기존에 사용하던 도구인 측각기와 새로운 도구인 3차원 동작분석 프로그램의 일치도를 비교하기 위해, 각각 3회 측정값의 평균과 표준편차를 이용하였다. 통계학적 분석을 위해 IBM SPSS(Statistics Package for the Social Science) 27.0 version(2020, IBM Korea, Korea)을 사용하였으며, 검사법의 비교를 위해 급내상관계수와 Bland-Altman plot을 이용하였다.

1) 측정값의 일치도

측각기와 3차원 동작분석 프로그램 측정값 사이

의 일치도를 측정하기 위해 급내상관계수(Intraclass Correlation Coefficient: ICC)를 이용하였다. 급내상관계수 모형은 이차원 변량 모형[ICC(2,1)]을 사용하였다. 급내상관계수는 .5 미만은 낮음(Poor), .5 ~ .75은 보통(Moderate), .75 ~ .90은 높음(Good), .90 ~ 1.00은 매우 높음(Excellent)으로 해석된다(Weir, 2005).

2) 측정값의 불일치 양상

본 연구에서 사용한 서로 다른 두 검사법으로 구한 측정값의 불일치 양상을 살펴보기 위해 Bland-Altman plot을 사용하였다. Bland-Altman plot은 두 측정값 차이의 평균과 표준편차를 이용해 그려진다. 가로축은 두 측정값의 평균을 나타내며, 세로축은 두 측정치의 차이를 나타낸다. 95% 신뢰구간은 상한값과 하한값 사이의 구간을 의미한다. Bland-Altman plot은 1) 평균이 0에 가까운지, 2) 하한값에서 상한값 사이에 측정값이 포함되는지, 3) 평균에 상관없이 차이 값이 랜덤하게 분포하는지 검토해야 한다. 측정값들이 95% 신뢰구간 범위 내에 포함된다면 두 검사법이 서로 교환하여 사용될 수 있음을 의미한다(Kong, 2017).

III. 연구 결과

1. 두 검사법을 이용한 관절가동범위 측정 시간 비교 결과

두 측정 도구를 사용하여 관절가동범위를 측정했을 때 소요된 시간을 비교하기 위해 측정 시간의 평균을 사용하였다. 측정 시간은 휴식 시간을 제외하고 기록하였다. 측정 시간을 비교한 결과 3차원 동작분석 프로그

Table 2. Comparison of Range of Motion Measurement Time Between Two Evaluation Tool

Evaluation tool	Measurement time (minute)
Goniometer	33.40 ± 1.85
3D motion analysis program	21.40 ± 1.20

램을 사용하였을 때의 측정 시간이 측각기에 비해 약 12분 정도 적게 소요된 것을 알 수 있었다(Table 2).

2. 3차원 동작분석 프로그램 신뢰도 분석

1) 측정값 사이의 일치도 분석 결과

측각기와 3차원 동작분석 프로그램으로 측정한 관절 가동범위의 측정값 사이의 급내상관계수를 비교한 분

석한 결과, 오른쪽과 왼쪽 총 44개 항목 중 38개의 항목에서 매우 높은 수준의 일치도가 나타났다. 손목 움직임 을 측정한 경우 손목 자뼈쪽 치우침에서 급내상관계수가 오른쪽 .844, 왼쪽 .851로 높은 수준을 보였다. 손허리손가락 벌림을 측정한 경우 검지~중지 손허리손가락 벌림의 급내상관계수가 오른쪽 .868, 왼쪽 .888, 중지~약지 손허리손가락 벌림의 급내상관계수가 오른쪽 .792, 왼쪽 .844로 높은 수준을 보였다(Table 3).

Table 3. ICC and 95% Confidence Interval for the Two Tests

(N = 50)

Evaluation items		Evaluation tool		ICC (2,1)	95% Confidence interval		
		Goniometer	3D motion analysis program		Upper limit	Lower limit	
		Mean (SD)	Mean (SD)				
Wrist	Flexion	Right	73.6 (13.65)	75.3 (8.68)	.949	.908	.971
		Left	75.10 (7.84)	74.93 (7.34)	.961	.930	.978
	Extension	Right	73.83 (13.47)	75.47 (8.19)	.986	.975	.992
		Left	75.27 (8.49)	75.44 (8.86)	.979	.962	.988
	Ulnar deviation	Right	41.50 (9.16)	38.80 (9.15)	.844	.711	.915
		Left	45.42 (9.71)	44.10 (10.09)	.851	.733	.917
Radial deviation	Right	25.53 (7.68)	25.03 (7.62)	.983	.970	.991	
	Left	24.66 (7.12)	24.42 (7.11)	.976	.956	.986	
MCP flexion	Right	61.76 (11.67)	67.76 (10.87)	.970	.947	.983	
	Left	62.66 (11.68)	62.67 (11.71)	.991	.983	.995	
Thumb	IP flexion	Right	83.73 (7.02)	84.63 (7.11)	.924	.861	.957
		Left	81.80 (6.62)	82.37 (6.96)	.932	.878	.962
	Radial abduction	Right	39.93 (5.63)	39.04 (6.15)	.949	.902	.972
		Left	41.10 (6.34)	39.67 (5.78)	.899	.798	.938
MCP	Index	Right	86.05 (4.12)	86.04 (4.00)	.968	.942	.983
		Left	87.19 (3.54)	87.01 (3.67)	.922	.853	.958
	Middle	Right	85.71 (4.70)	85.25 (4.94)	.976	.956	.987
		Left	86.31 (4.27)	86.09 (4.67)	.914	.834	.955
	Ring	Right	84.76 (4.64)	84.60 (5.30)	.903	.823	.947
		Left	86.09 (4.67)	85.97 (3.90)	.937	.883	.966
	Pinky	Right	84.82 (4.56)	84.61 (4.70)	.981	.965	.989
		Left	85.97 (3.90)	86.12 (3.85)	.967	.938	.982

Table 3. ICC and 95% Confidence Interval for the Two Tests

(N = 50) (continued)

Evaluation items		Evaluation tool		ICC (2,1)	95% Confidence interval			
		Goniometer	3D motion analysis program		Upper limit	Lower limit		
		Mean (SD)	Mean (SD)					
PIP flexion	Index	Right	107.27 (4.07)	106.84 (4.68)	.922	.857	.957	
		Left	107.68 (5.92)	107.73 (5.07)	.960	.925	.979	
	Middle	Right	104.45 (4.14)	103.46 (4.56)	.937	.882	.966	
		Left	103.17 (4.96)	102.42 (4.91)	.951	.902	.975	
	Ring	Right	107.31 (5.14)	106.70 (6.03)	.961	.923	.979	
		Left	108.29 (4.82)	107.52 (4.55)	.936	.875	.967	
	Pinky	Right	106.70 (6.03)	107.20 (5.19)	.944	.897	.969	
		Left	107.80 (4.87)	107.43 (4.53)	.936	.881	.966	
	DIP flexion	Index	Right	80.10 (7.18)	79.49 (6.96)	.958	.922	.977
			Left	74.39 (5.93)	73.50 (5.82)	.947	.900	.972
Middle		Right	82.63 (7.52)	81.22 (7.88)	.991	.982	.995	
		Left	77.31 (7.33)	77.15 (7.20)	.989	.979	.994	
Ring		Right	80.96 (6.22)	79.56 (6.89)	.971	.898	.970	
		Left	76.09 (5.18)	74.98 (5.08)	.940	.869	.970	
Pinky		Right	80.88 (6.36)	79.79 (7.00)	.965	.934	.981	
		Left	76.09 (5.18)	74.97 (5.08)	.940	.869	.970	
MCP abduction		Index middle	Right	22.03 (2.80)	21.24 (3.14)	.868	.757	.928
			Left	20.96 (3.41)	20.80 (3.71)	.888	.668	.882
	Middle ring	Right	21.24 (3.14)	20.66 (3.06)	.792	.631	.883	
		Left	20.89 (3.05)	20.32 (2.99)	.844	.721	.913	
	Ring pinky	Right	22.36 (4.02)	22.78 (4.27)	.953	.915	.974	
		Left	23.40 (4.72)	23.46 (4.66)	.948	.907	.971	

DIP = Distal Interphalangeal; ICC = Intraclass Correlation Coefficient; IP = Interphalangeal; MCP = Metacarpophalangeal; SD = Standard Deviation; PIP = Proximal Interphalangeal

2) 측정값 사이의 불일치 양상 분석 결과

측각기와 3차원 동작분석 프로그램으로 측정된 관절 가동범위의 측정값 사이의 불일치 양상을 분석하기 위해 측정값 평균 차이(Mean Difference; \bar{d}), 95% 일치한 계값(Limits of Agreement; LOA)을 이용하였다. 측정값 평균 차이를 분석한 결과, 오른쪽 손목 자뼈쪽 치우침

($\bar{d} = 2.26$), 오른쪽 엄지 손가락뼈 사이 굽힘($\bar{d} = 1.06$), 왼쪽 엄지 노뼈쪽 벌림($\bar{d} = 1.06$)의 평균 차이 값이 1을 초과하였다. 95% 일치한계값의 차이를 분석한 결과, 자뼈쪽 치우침의 상한값과 하한값의 차이는 오른쪽 25.43, 왼쪽 27.49로 측정항목 중 가장 크게 나타났다.

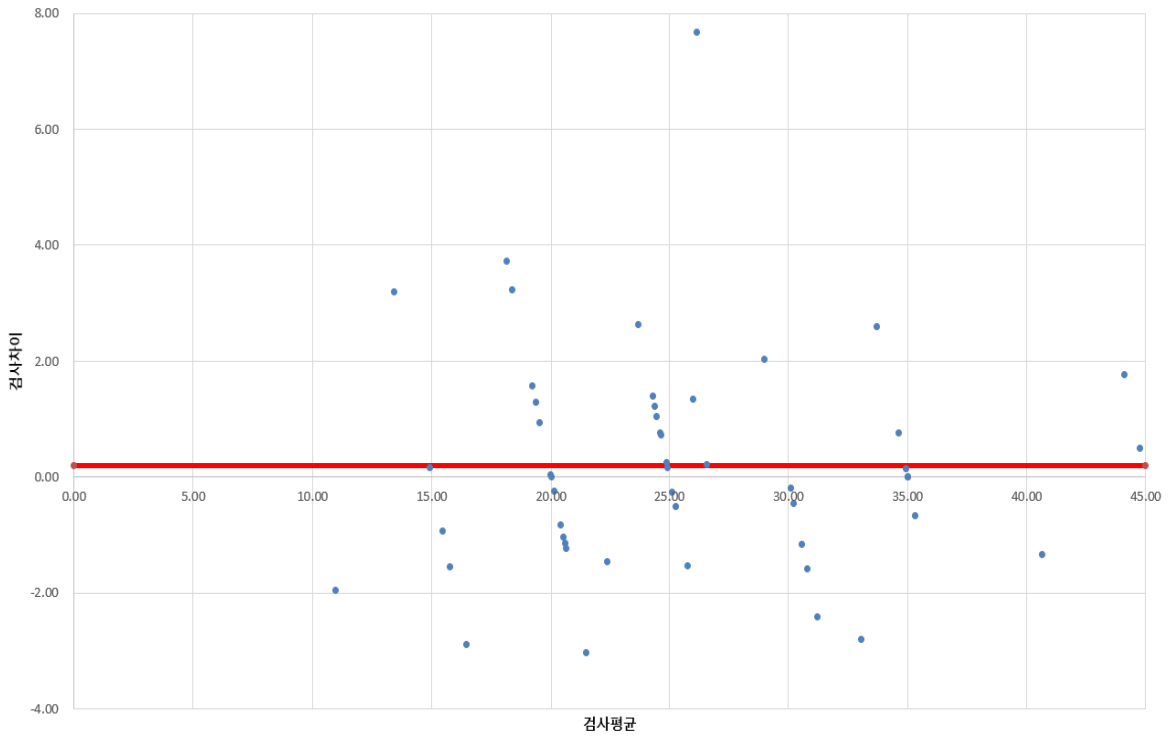


Figure 3. Right Wrist Ulna Deviation Bland Altman Plot

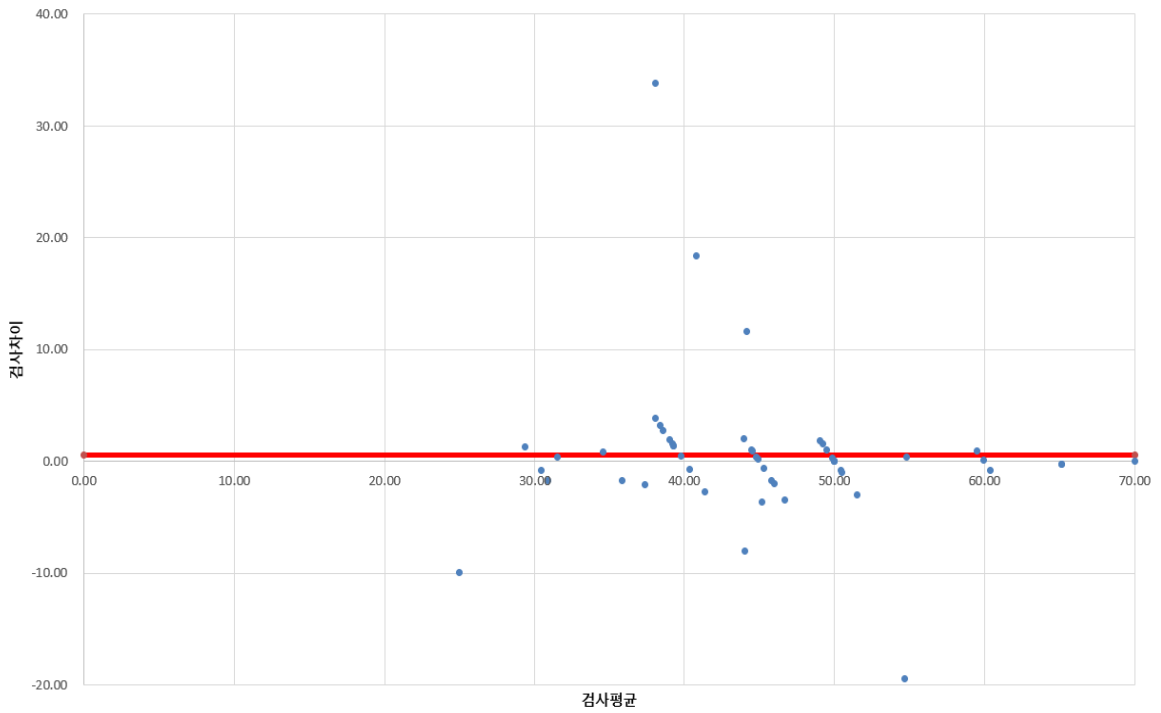


Figure 4. Left Wrist Ulna Deviation Bland Altman Plot

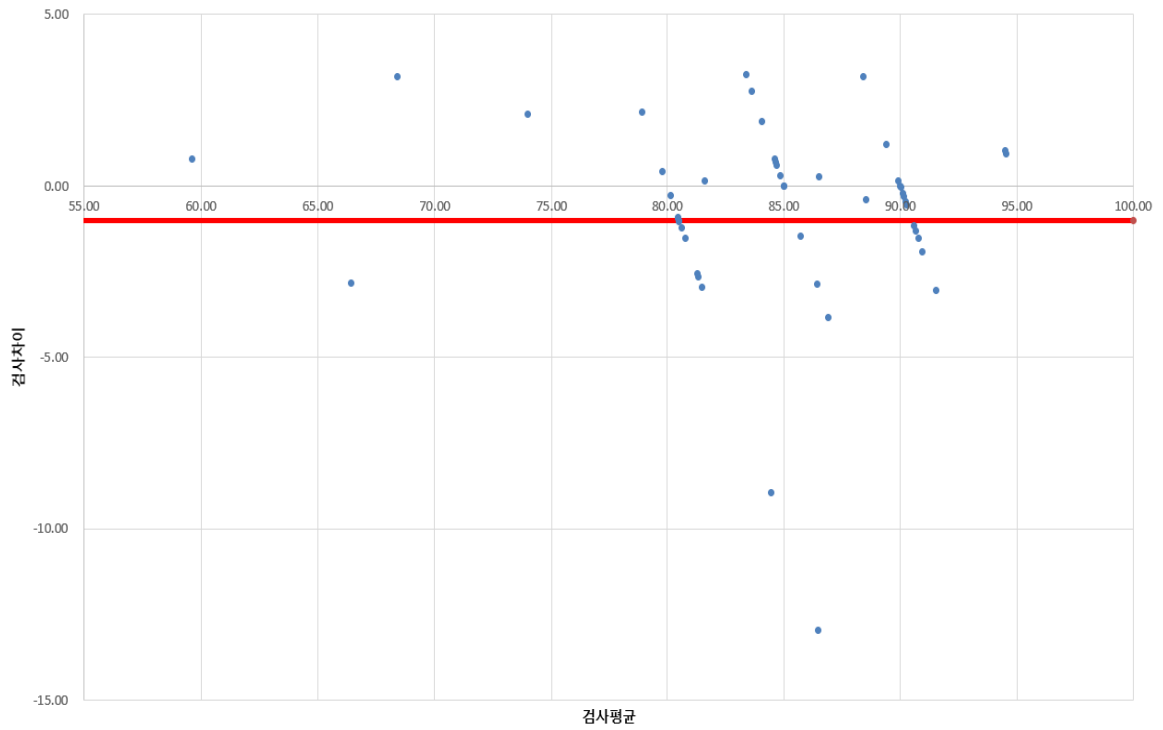


Figure 5. Right Thumb IP Flexion Bland Altman Plot

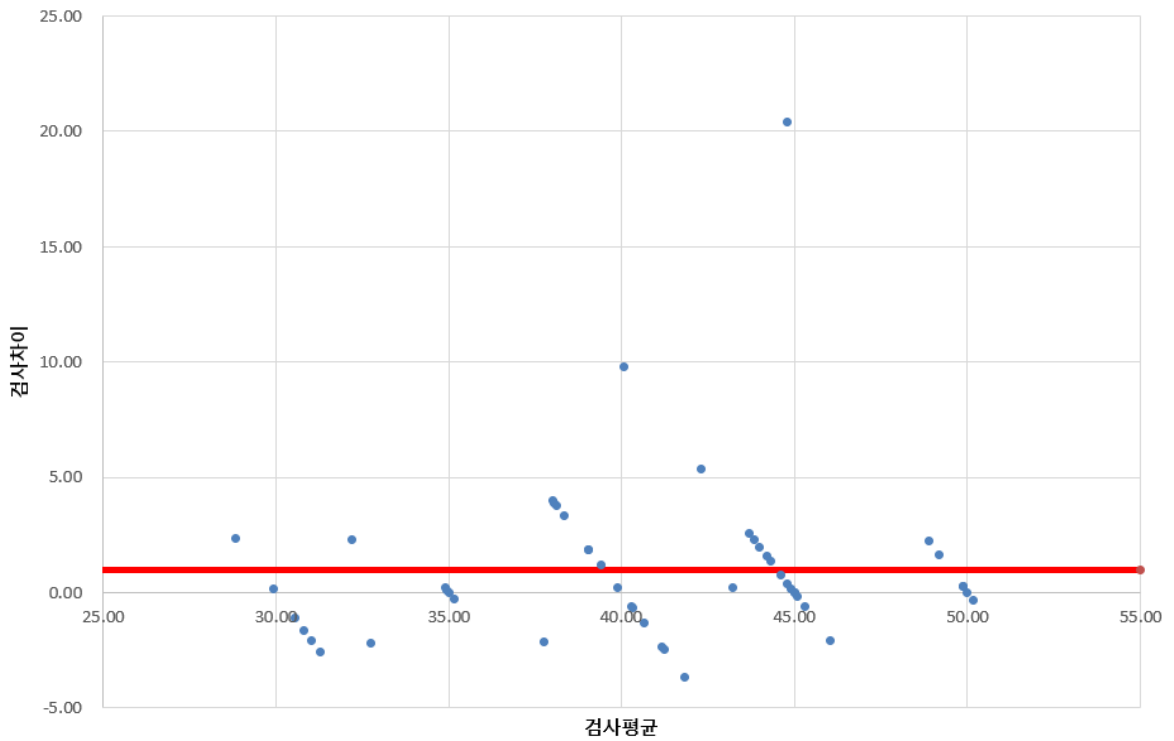


Figure 6. Left Thumb Radial Abduction Bland Altman Plot

평균 차이 값이 1을 초과한 항목과 95% 일치한계값의 차이가 가장 크게 나타난 항목의 Bland Altman Plot을 분석한 결과, 95% 일치한계값 범위 내에 포함되지 않는 측정값이 오른쪽 손목 자뼈쪽 치우침 2개, 왼쪽 손목 자뼈쪽 치우침 3개, 오른쪽 엄지 뼈 사이 굽힘 3개, 왼쪽 엄지 노뼈쪽 벌림 1개로 나타났다(Figure 3-6).

IV. 고 찰

본 연구는 측각기와 3차원 동작분석 프로그램을 사용하여 정상인의 손목과 손가락 관절가동범위를 측정했을 때의 측정값을 비교하여 두 검사법의 일치도를 알아보고자 하였다. 손목과 손가락에서 일어나는 11가지의 움직임을 비교한 결과 두 검사법의 일치도는 높은 수준으로 나타났으며, 불일치 정도는 낮은 수준으로 나타났다.

손목과 손가락 관절가동범위에 제한이 생길 경우 쥐기 능력, 세밀한 조작 능력 등 손 기능의 감소로 이어진다(Tajali et al., 2016). 따라서 환자의 손 기능을 평가할 때 관절가동범위를 측정하는 것은 임상적 진단 및 예후, 개인에게 적절한 치료 계획을 설정하는데 도움을 준다(Pourahmadi et al., 2017). 손목과 손가락은 좁은 범위 내에 여러 개의 관절이 위치하고 뼈의 축이 짧아 객관적인 평가를 위해 현재 스마트폰과 3차원 동작분석 프로그램이 사용되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 스마트폰 측각기의 단점인 측정의 오차나 3차원 동작분석 프로그램의 단점인 분석의 복잡함과 가격을 고려하였을 때, 최근 대두되고 있는 방안은 마커를 사용하지 않고 웹캠을 사용한 3차원 동작분석 프로그램을 이용하는 것이다.

3차원 동작분석 프로그램을 이용하여 관절가동범위를 측정하는 방법에 대한 신뢰도를 입증하기 위해 다양한 연구들이 진행되었다(Reissner et al., 2019; Strimpakos et al., 2005). Strimpakos 등(2005)의 연구에서는 35명의 정상인을 대상으로 머리·목 관절의 6

가지 움직임에 관한 3차원 동작분석 프로그램의 신뢰도 연구에서 높은 수준(ICC = .66 ~ .97)의 신뢰도를 나타냈다. Reissner 등(2019)의 연구에서는 20명의 정상인을 대상으로 손목과 손가락 관절의 7가지 움직임에 관한 3차원 동작분석 프로그램의 신뢰도 연구에서는 먼쪽손가락뼈사이 움직임을 제외하고 모든 관절에서 높은 수준(ICC = .66 ~ .97)의 신뢰도를 나타냈다. 이처럼 3차원 동작분석 프로그램을 활용하여 관절가동범위를 측정할 경우 높은 수준의 신뢰도를 나타낼 수 있었다.

선행연구에 따르면 관절가동범위는 측정하고자 하는 관절, 움직임, 능동·수동 관절가동범위 여부 등에 따라 차이가 발생한다고 한다(Yang et al., 2016). Strimpakos 등(2005)의 연구에서는 머리·목 관절의 관절가동범위를 측정하기 위해 측정하고자 하는 움직임을 정형화하여 연구를 진행하였다. 그 결과 3차원 동작분석 프로그램을 통해 객관적으로 머리·목 관절가동범위를 측정할 수 있었다. Reissner 등(2019)의 연구에서는 마커를 부착한 뒤 3차원 동작분석 프로그램을 통해 손목과 손가락의 관절가동범위를 측정하였다. 마커의 부착으로 인해 관절의 움직임에 영향을 받게 되어 관절가동범위의 측정이 과소·과대 측정되었다. 따라서 본 연구에서는 손목과 손가락 관절가동범위를 측정하기 위해 미국 손 치료사 협회에서 제공하는 측정기준을 적용해 움직임을 정형화하였으며, 마커를 부착하지 않고 관절가동범위를 측정해 관절의 움직임에 영향을 받을 수 있는 요인을 최소화하였다.

본 연구 결과 스마트폰 측각기를 이용해 관절가동범위를 측정한 Pouramadi 등(2017)의 연구에서 나타난 보통 수준보다 더 높은 수준의 신뢰도를 나타냈다. 본 연구는 관절가동범위를 측정할 때 측정하려는 관절 이외에 다른 관절의 움직임을 최소화하기 위해 손목과 손가락 관절 움직임 시 어깨와 팔꿈치 관절을 굽히려는 보상 움직임이 나오지 않도록 사전에 교육하였고, 앉아 있는 대상자에게 녹화되고 있는 영상의 화면을 보여주며 움직임을 수행하도록 하였다. 이처럼 손목과 손가락

관절가동범위 측정 동작을 정형화시킨 결과 매우 높은 수준의 신뢰도가 나타난 것으로 사료된다.

두 검사법을 비교한 연구 결과 대부분의 항목에서 매우 높은 수준의 일치도가 나타났지만, 자뼈쪽 치우침을 측정 결과 두 검사법의 불일치 양상이 큰 것으로 나타났다. 이는 측각기를 사용한 측정에서는 자쪽 손목뼈근이 가장 높은 활성도를 나타내는 자세인 아래팔 옆침 상태에서 자뼈쪽 치우침을 측정하였지만, 3차원 동작분석 프로그램을 사용한 측정에서는 프로그램이 영상을 인식할 때의 특성을 고려해 아래팔 뒤침 상태에서 자뼈쪽 치우침을 측정하였다. 손목 자뼈쪽 치우침을 수행하는 근육인 자쪽 손목뼈근은 아래팔의 자세에 따라 근활성도에 차이가 나타나기 때문에(Lee et al., 2021), 측정값 사이의 불일치 양상이 크게 나타난 것으로 예상된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 손목과 손가락 관절가동범위 측정항목 총 12개 중 손허리손가락 젖힘을 제외한 11개의 항목만을 측정하였다. 손허리손가락 젖힘의 관절가동범위 측정을 위해서는 3개의 각도에서 촬영이 진행된 뒤, 움직임이 분석되어야 한다. 본 연구에서는 2개의 카메라를 사용하여 촬영이 진행되었기 때문에, 손허리손가락 젖힘의 관절가동범위 측정을 위해서는 프로그램이 추가로 개발되어야 할 것이다. 둘째, 본 연구는 3차원 동작분석 프로그램을 통해 손목과 손가락의 관절가동범위 측정의 신뢰도를 규명하는 연구로 손목과 손가락의 움직임이 제한이 없는 자로 선정하였다. 또한 본 연구는 Y대학교에 재학 중인 학생들을 대상으로 하여 대상자의 성별과 연령층이 제한적이었다. 따라서 추후 연구에서는 대상자의 질병 유무, 성별, 연령층을 다양화할 필요가 있다.

그럼에도 본 연구가 갖는 의의는 다음과 같다. 본 연구에서는 마커를 부착하지 않은 3차원 동작분석 프로그램을 활용하여 측정의 오류를 감소시키고, 마커의 부착이 어려운 관절도 측정할 수 있었다. 또한 노트북과 웹캠만을 사용하여 공간적 제약이 감소시켜 추후 실제 임상 환경에서 적용되어 환자의 움직임을 객관적으로

평가할 수 있는 도구로 활용되는 가능성을 확인했다. 또한 3차원 동작분석 프로그램을 통해 촬영된 영상을 기반으로 환자에게 시각적 피드백을 제공할 수 있을 것이다(Mesquita et al., 2020).

V. 결 론

본 연구는 측각기와 3차원 동작분석 프로그램을 이용하여 손목과 손가락 관절가동범위를 측정하였을 때, 두 측정값의 일치도와 불일치 양상 비교를 통해 3차원 동작분석 프로그램의 신뢰도를 규명하고자 하였다. 두 검사법을 사용해 측정한 손목과 손가락 관절가동범위 11가지를 비교하였을 때, 8가지 매우 높은 수준의 일치도를 나타냈으나 3가지 항목에서 불일치 양상이 나타났다. 본 연구 결과를 선행연구와 비교한 결과 3차원 동작분석 프로그램은 편리성, 정확성의 장점을 기반으로 관절가동범위를 측정하기에 적합한 도구임을 알 수 있었다.

References

- American Occupational Therapy Association. (2017). The practice of occupational therapy in feeding, eating, and swallowing. *American Journal of Occupational Therapy*, 71(2), 1-13. <https://doi.org/10.5014/ajot.2017.716S04>
- Cook, J. R., Baker, N. A., Cham, R., Hale, E., & Redfern, M. S. (2007). Measurements of wrist and finger postures: A comparison of goniometric and motion capture techniques. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(1), 70-78. <https://dx.doi.org/10.1123/jab.23.1.70>
- Engstrand, C., Krevers, B., & Kvist, J. (2012). Interrater reliability in finger joint goniometer measurement in Dupuytren's disease. *The American Journal of Occupational Therapy*, 66(1), 98-103. <https://dx.doi.org/10.5014/ajot.2012.001925>
- Fess, E. E. M. C. (1981). Clinical assessment recommendations. *American Society of Hand Therapists*, 6-8.

- Ge, M., Chen, J., Zhu, Z. J., Shi, P., Yin, L. R., & Xia, L. (2020). Wrist ROM measurements using smartphone photography: Reliability and validity. *Hand Surgery and Rehabilitation*, 39(4), 261-264. <https://doi.org/10.1016/j.hansur.2020.02.004>
- Hazman, M. A. W. I., Nordin, I. N. A. M., Noh, F. H. M., Khamis, N., Razif, M., Faudzi, A. A., & Hanif, A. S. M. (2020). IMU sensor-based data glove for finger joint measurement. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 20(1), 82-88. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i1.pp82-88>
- Jung, J. H., Cho, Y. N., & Chae, S. Y. (2011). The effect of task-oriented movement therapy on upper extremity, upper extremity function and activities of daily living for stroke patients. *Journal of Rehabilitation Research*, 15(3), 231-253.
- Keogh, J. W., Cox, A., Anderson, S., Liew, B., Olsen, A., Schram, B., & Furness, J. (2019). Reliability and validity of clinically accessible smartphone applications to measure joint range of motion: A systematic review. *Plos One*, 14(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215806>
- Kim, S. H., Kim, H. G., & Lee, J. H. (2013). Effect of virtual reality based exercise program on the upper extremity function and activities of daily living in stroke patients. *Journal of Rehabilitation Research*, 17(2), 373-391.
- Kitagawa, T., Nakase, J., Takata, Y., Shimozaki, K., Asai, K., & Tsuchiya, H. (2019). Use of ultrasonography to evaluate the dynamics of the infrapatellar fat pad after anterior cruciate ligament reconstruction: A feasibility study. *Journal of Medical Ultrasonics*, 46, 147-151.
- Kong, K. A. (2017). Statistical methods: Reliability assessment and method comparison. *The Ewha Medical Journal*, 40(1), 9-16. <https://doi.org/10.12771/emj.2017.40.1.9>
- Lee, G. B., Hwang, J. M., Lee, D. Y., Yu, J. H., Kim, J. S., & Kim, S. G. (2021). The effect of forearm position on the activity of the upper-extremity muscles during shoulder external rotation exercise using a pulley. *Neurotherapy*, 25(2), 9-15. <http://dx.doi.org/10.17817/2021.06.06.1111653>
- Lee, H. H., St. Louis, K., & Fowler, J. R. (2018). Accuracy and reliability of visual inspection and smartphone applications for measuring finger range of motion. *Orthopedics*, 41(2), 217-221. <https://doi.org/10.3928/01477447-20180103-02>
- Ma, S. R., & Yang, B. I. (2019). The effects of task application after hand intrinsic muscle treatment on decreasing unilateral neglect in stroke patients. *Medico-Legal Update*, 19(1), 407-412. <https://doi.org/10.5958/0974-1283.2019.00077.X>
- Mesquita, I. A., Da Fonseca, P. F. P., Borgonovo-Santos, M., Ribeiro, E., Pinheiro, A. R. V., Correia, M. V., & Silva, C. (2020). Comparison of upper limb kinematics in two activities of daily living with different handling requirements. *Human Movement Science*, 72, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102632>
- Metcalfe, C. D., Robinson, R., Malpass, A. J., Bogle, T. P., Dell, T. A., Harris, C., & Demain, S. H. (2013). Markerless motion capture and measurement of hand kinematics: Validation and application to home-based upper limb rehabilitation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(8), 2184-2192. <http://doi.org/10.1109/TBME.2013.2250286>
- Modest, J., Clair, B., DeMasi, R., Meulenaere, S., Howley, A., Aubin, M., & Jones, M. (2019). Self-measured wrist range of motion by wrist-injured and wrist-healthy study participants using a built-in iPhone feature as compared with a universal goniometer. *Journal of Hand Therapy*, 32(4), 507-514. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2018.03.004>
- Moon, J. H., & Won, Y. S. (2021). Relationships and comparison for cognitive function, hand function, balance, activities of daily living according to general characteristics of stroke patients. *Journal of Neuropsychological Rehabilitation*, 13(1), 29-42. <http://doi.org/10.29144/KSCTE.2021.13.1.29>
- Nizamis, K., Rijken, N. H., Mendes, A., Janssen, M. M., Bergsma, A., & Koopman, B. F. (2018). A novel setup and protocol to measure the range of motion of the wrist and the hand. *Sensors*, 18(10), 1-14. <https://doi.org/10.3390/s18103230>
- Ota, M., Tateuchi, H., Hashiguchi, T., Kato, T., Ogino, Y., Yamagata, M., & Ichihashi, N. (2020). Verification of reliability and validity of motion analysis systems during bilateral squat using human pose tracking algorithm. *Gait & Posture*, 80, 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.05.027>
- Pourahmadi, M. R., Takamjani, I. E., Sarrafzadeh, J., Bahramian, M., Mohseni-Bandpei, M. A., Rajabzadeh,

- F., & Taghipour, M. (2017). Reliability and concurrent validity of a new iPhone® goniometric application for measuring active wrist range of motion: A cross-sectional study in asymptomatic subjects. *Journal of Anatomy*, *230*(3), 484-495. <https://doi.org/10.1111/joa.12568>
- Reissner, L., Fischer, G., List, R., Taylor, W. R., Giovanoli, P., & Calcagni, M. (2019). Minimal detectable difference of the finger and wrist range of motion: Comparison of goniometry and 3D motion analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, *14*(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1177-y>
- Strimpakos, N., Sakellari, V., Gioftsos, G., Papatthanasiou, M., Brountzos, E., Kelekis, D., Kapreli, E., & Oldham, J. (2005). Cervical spine ROM measurements: Optimizing the testing protocol by using a 3D ultrasound-based motion analysis system. *Cephalalgia*, *25*(12), 1133-1145. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2982.2005.00970.x>
- Szekeres, M., MacDermid, J. C., Birmingham, T., & Grewal, R. (2016). The inter-rater reliability of the modified finger goniometer for measuring forearm rotation. *Journal of Hand Therapy*, *29*(3), 292-298. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2016.02.010>
- Tajali, S. B., MacDermid, J. C., Grewal, R., & Young, C. (2016). Reliability and validity of electro-goniometric range of motion measurements in patients with hand and wrist limitations. *The Open Orthopaedics Journal*, *10*, 190-205. <http://dx.doi.org/10.2174/1874325001610010190>
- Van Kooij, Y. E., Fink, A., Nijhuis-van der Sanden, M. W., & Speksnijder, C. M. (2017). The reliability and measurement error of protractor-based goniometry of the fingers: A systematic review. *Journal of Hand Therapy*, *30*(4), 457-467. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2017.02.012>
- Weir, J. P. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *19*(1), 231-240.
- Yang, H., Jeong, C., Yoo, Y., & Bae, S. (2016). Reliability study of hip range of motion measurement by smartphone inclinometer. *Journal of the Korean Society of Integrative Medicine*, *4*(2), 89-96. <https://doi.org/10.15268/ksim.2016.4.2.089>

Abstract

Reliability Study of Three-Dimensional Motion Analysis Program for Wrist and Finger Joint Range of Motion Measurement

Park, Sun Ha^{*}, M.S., O.T., Park, Ji-Hyuk^{**}, Ph.D., O.T., Kim, Jong Bae^{**}, Ph.D.,
Jung, Young Jin^{***}, Ph.D., Lee, Joo Hyun^{****}, Ph.D., O.T.,
Park, Hae Yean^{**}, Ph.D., O.T.

^{*}Asan Medical Center, Seoul, Department of Rehabilitation Medicine, Researcher /
Dept. of Occupational Therapy, Graduate School, Yonsei University, Master

^{**}Dept. of Occupational Therapy, College of Software and
Digital Healthcare Convergence, Yonsei University, Professor

^{***}School of Healthcare Medical and Biomedical Engineering,

College of Engineering Sciences, Chonnam National University, Professor

^{****}Dept. of Occupational Therapy, Baekseok University, Associate Professor

Objective : This study aimed to assess the reliability of a three-dimensional (3D) motion analysis program for measuring the range of motion (ROM) of wrist and finger joints.

Methods : The study recruited 50 people who had no restrictions on wrist and finger movements, understood the purpose of this study, and agreed to participate. Using a goniometer and a 3D motion analysis program, a total of 11 wrist and finger ROM were measured once each. To measure the reliability of the 3D motion analysis program, the degree of agreement and inconsistency of the measured values were compared.

Results : Analysis of the degree of agreement of the measured values revealed that 38 out of 44 items showed a very high degree of agreement. Regarding analysis of inconsistency in the measured values, inconsistencies were found in three items.

Conclusion : The results of this study confirmed that the ROM of the joint could be measured using the 3D motion analysis program applied in this study. In addition, it might be expected that the 3D motion analysis program would be used in various clinical fields owing to the advantages of measurement convenience and accuracy.

Keywords : 3D motion analysis program, Accuracy, Consistency, Range of motion, Reliability